

## СКАЧКООБРАЗНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ КРИТИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНЫ ПРИ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ КАК ФАКТОР ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ЯВЛЕНИЯ

Ю.Н. Головки, Е.А. Сдвижкова, Д.В. Клименко, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Украина

Статья посвящена усовершенствованию прогноза динамических явлений по амплитудно-частотным характеристикам сейсмоакустического сигнала. Проанализированы условия колебательного воздействия, при которых может происходить скачкообразное развитие трещин в горных породах. Показано, что данный эффект может наблюдаться, когда выполняется критерий выбросоопасности, учитывающий отношение амплитуд высоко- и низкочастотных составляющих акустического сигнала. Обосновано использование ещё одного критерия и предложена последовательная схема использования двух критериев прогноза динамических явлений.

**Актуальность вопроса исследования.** Газодинамические явления и их последствия остаются серьёзной проблемой при шахтной добыче угля.

Так, в 2014-2017 гг. отмечены следующие газодинамические явления в Донецкой области. Взрыв газовоздушной смеси в непрветриваемой части остановленной восточной коренной разгрузочной лавы западной панели пласта m3 (предприятие "Макеевуголь", шахта "Северная"). Выброс угля и газа в третьей восточной лаве вспомогательного уклона центральной панели пласта h1(6) (шахта им. Скопинского). Взрыв газовоздушной смеси без последующего горения на горизонте 300 метров в шахте малого угледобывающего предприятия ООО "Гранд-Инвест Плюс" (г. Кировское (Крестовка, укр. Хрестівка) Донецкой области). Газодинамическое явление в конвейерном ходе третьей северной разгрузочной лавы h10 (шахта "Холодная Балка" ГП Макеевуголь, Макеевка). Мощный взрыв (шахта имени Засядько, Донецк), горный удар (шахта "Северная"), обрушение угля из пласта при его выемке в уступе №2 (обособленное подразделение "Шахта "Центральная"). Жертвами в результате этих газодинамических явлений стали 280 человек.

Особую опасность представляют внезапные газодинамические явления, предотвращение которых является задачей текущих методов прогноза. Среди последних наиболее оперативным, позволяющим вести непрерывный мониторинг состояния выработок, является сейсмоакустический метод прогноза. В то же время, не смотря на широкое использование, надёжность данного метода явно недостаточна.

**Постановка задачи и цели исследований.** При сейсмоакустическом мониторинге опасное состояние в окрестности выработки идентифицируется по значению некоторого прогностического показателя, предельное (критическое) значение которого устанавливается на основании предыдущих наблюдений, проведённых как в безопасных по выбросам и не содержащих геологических нарушений зонах, так и в зонах, где в последствии наблюдались газодинамические явления.

В условиях работающих добычных механизмов в качестве такого прогностического показателя практически повсеместно используется величина  $K_B$ , представляющая собой отношение амплитуды высокочастотной составляющей спектра акустического сигнала  $A_B$  к амплитуде низкочастотной составляющей спектра  $A_H$ :

$$K_B = \frac{A_B}{A_H}.$$

Опасное состояние прогнозируется, если значение  $K_B$  превышает некоторое предварительно установленное критическое значение.

Данный прогностический показатель был предложен на основе многочисленных сейсмических наблюдений в шахтных условиях (Мирер, Масленников) и нормативно признан [1].

Изменение прогностического показателя объясняется авторами как следствие уменьшения затухания сигнала, обусловленного ростом напряжений в некоторой области пласта. В результате амплитуды упругих колебаний возрастают, причём амплитуды высокочастотных колебаний более существенно, чем низкочастотных, что и ведёт к росту показателя  $K_B$ . Таким образом, согласно данного объяснения, увеличение показателя  $K_B$  свидетельствует о росте напряжений в окрестности выработки. В то же время значение показателя  $K_B$  используется для прогноза газодинамических явлений, то есть прогноза спонтанного разрушения, которое не может обеспечиваться только ростом напряжений. Поэтому целью данной работы является определение влияния изменения частотных составляющих механических колебаний (а, соответственно, и  $K_B$ ) на склонность горной породы к разрушению.

Горная порода представляет собой неоднородную среду, которая находится под совместным действием механических напряжений и колебательных процессов. Как правило, процесс разрушения сопровождается изменением состояния трещин и их развитием. Важно знать о влиянии, которое оказывают упругие колебания на трещины в предварительно напряжённо-деформируемой среде. Поэтому необходимо проверить гипотезу о возможном увеличении размеров трещин (страгивании трещин), связанных с колебаниями, распространяющимися в массиве.

Исследования условия страгивания трещин и причины их выхода из равновесного состояния являются одной из целей данной работы. Полученные выводы [2, 3, 4] используются для детального обоснования критерия выбросоопасности угольных пластов по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала [1] и обобщения этого критерия с целью его применения для различных пород.

### **Изложение материала.**

Процесс разрушения связан с трещинообразованием и раскрытием уже существующих трещин в массиве. Выясним, что происходит с ними при увеличении амплитуды колебаний, действующих в массиве.

Как известно, трещина является нарушением сплошности среды, вызывающим концентрацию напряжений в области, примыкающей к ее вершине. Согласно силовому критерию развития трещины величина напряжения в вершине трещины может превысить предел прочности материала (согласно критерию Ирвина – превысить предельное значение коэффициента интенсивности напряжения), в результате чего происходит рост трещины, создание условий для образования новых трещин и, как следствие, разрушение определённого объёма материала.

Напряжение, нормальное плоскости трещины, в окрестности момента страгивания трещины представим в виде:

$$\sigma_1(t) = \sigma_0 + k \cdot (t - t_0) + a \cdot \cos[2\pi\vartheta \cdot (t - t_0) + \phi_0]. \quad (1)$$

В равенстве (1)  $\sigma_0 + k \cdot (t - t_0)$  – составляющая напряжения, связанная с квазистатическим напряжением в массиве, где скорость роста квазистатических напряжений  $k = \left( \frac{d\sigma}{dt} \right) \Big|_{t=t_0}$ .

Величины  $a, \vartheta, \phi_0$  связаны с колебаниями в массиве, представляют собой амплитуду, частоту и фазу соответственно в момент страгивания трещины,  $t$  – время.

Тогда при регулярном напряжении (1) в окрестности момента страгивания трещины условие страгивания трещины имеет вид [3]:

$$\bar{a} \operatorname{sinc}(\pi \bar{l}) \cos(\pi \lfloor \bar{l} \rfloor) \geq \frac{K_{cv}}{\sqrt{\bar{l}}} + \frac{\alpha \bar{l}}{2} - \operatorname{sign}(\sigma_0) \quad (2)$$

Здесь величины, входящие в условие (2), безразмерные:

$$\begin{aligned}\bar{a} &= \frac{a}{|\sigma_0|} & \bar{l} &= \frac{l \cdot g}{C_R}, \\ (3) \\ K_{cv} &= \frac{K_{1c}}{2|\sigma_0|} \cdot \sqrt{\frac{\pi g}{C_R}} & \alpha &= \frac{k}{|\sigma_0| \cdot g}.\end{aligned}$$

Величины  $l$  – характерный размер (радиус) дисковой трещины,  $C_R$  – скорость волны Рэлея,  $K_{1c}$  – критическое значение коэффициента интенсивности напряжения (коэффициент трещиностойкости).

Функции, которые используются в (2):

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin x}{x} \text{ – кардинальный синус,}$$

$\lfloor x \rfloor$  – наименьшее целое число, не превышающее значение  $x$  (floor ( $x$ )).

Кроме того, для (2) должно выполняться условие

$$\frac{K_{cv}}{\sqrt{l}} + \frac{\alpha \bar{l}}{2} - \text{sign}(\sigma_0) \geq 0 \quad (4)$$

Если неравенство (4) не выполняется, то страгивание трещины соответствующей длины может произойти и без воздействия колебательной нагрузки. В работах [2, 3] подробно описан вывод условия страгивания трещины (2).

Из условия (2) получаем:

$$\bar{a}(\bar{l}) = \frac{\frac{K_{cv}}{\sqrt{l}} + \frac{\alpha \bar{l}}{2} - \text{sign}(\sigma_0)}{\text{sinc}(\pi \bar{l}) \cos(\pi \lfloor \bar{l} \rfloor)}, \quad (5)$$

$$\text{где } \text{sinc}(\pi \bar{l}) \cos(\pi \lfloor \bar{l} \rfloor) \neq 0 \quad (6)$$

Функция (5) не является однозначной, поэтому требуются дополнительные исследования, чтобы установить связь между величинами  $\bar{a}$  и  $\bar{l}$ . Сначала рассмотрим случай, когда в окрестности трещины, кроме колебательной нагрузки, действует только постоянное растягивающее напряжение, то есть в (1)  $\sigma_0 > 0$  и  $k = 0$ . Тогда  $\text{sign}(\sigma_0) = 1$ ,  $\alpha = 0$  и условия (2) и (5) принимают вид:

$$\bar{a} \text{sinc}(\pi \bar{l}) \cos(\pi \lfloor \bar{l} \rfloor) \geq \frac{K_{cv}}{\sqrt{l}} - 1 \quad (7)$$

$$\bar{a}(\bar{l}) = \frac{\cos(\pi \lfloor \bar{l} \rfloor)}{\text{sinc}(\pi \bar{l})} \left( \frac{K_{cv}}{\sqrt{l}} - 1 \right) \quad (8)$$

$$\text{где } \bar{l} \neq 1, 2, \dots \text{ и } 0 < \bar{l} \leq K_{cv}^2 \quad (9)$$

Уже однозначные зависимости  $\bar{a}(\bar{l})$  (8) при различных значениях величины  $K_{cv}$  изображены на рисунке 1 с учетом условий (9).

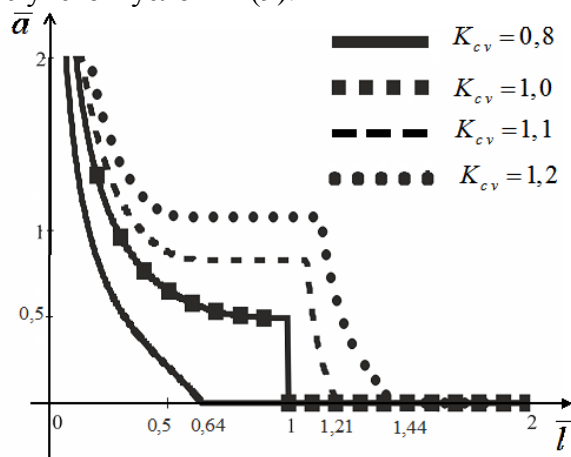


Рис. 1. Зависимость  $\bar{a}(\bar{l})$  при различных значениях величины  $K_{cv}$ ,  $\sigma_0 > 0$ ,  $\alpha = 0$

Итак, если значение величины  $K_{cv} > 1$ , то при определённом значении амплитуды  $\bar{a} = \bar{a}_0$  начинают одновременно страгиваться трещины длиной из некоторого промежутка  $\bar{l}_{\min} < \bar{l} < \bar{l}_{\max}$  (на рисунке 1 этому соответствуют горизонтальные участки графиков функций  $K_{cv} = 1,1$  и  $K_{cv} = 1,2$ ). Такое изменение в длине страгиваемых трещин назовём скачкообразным. Графики зависимостей амплитуды в момент скачка  $\bar{a}_0(K_{cv})$ , наименьшего и наибольшего значения длин трещин  $\bar{l}_{\min}(K_{cv})$  и  $\bar{l}_{\max}(K_{cv})$  соответственно показаны на рисунке 2.

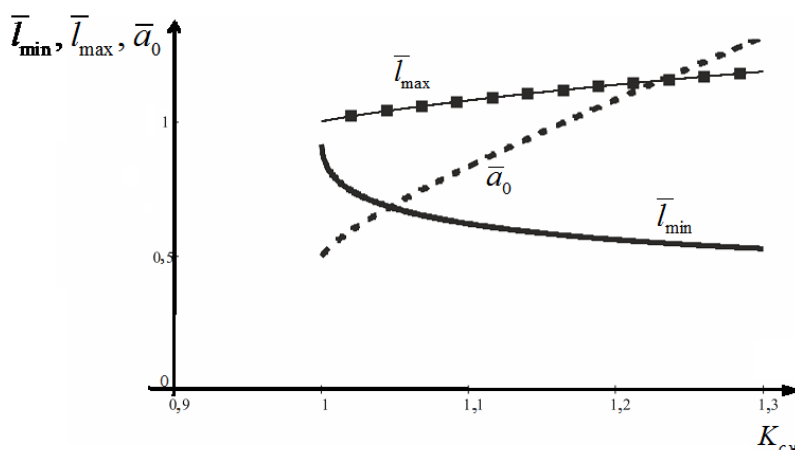


Рис. 2. Начальное  $\bar{l}_{\min}$  и конечное  $\bar{l}_{\max}$  значения длины критической трещины при её скачкообразном изменении и амплитуда колебаний  $\bar{a}_0$ , вызвавших скачок

Чем больше величина  $K_{cv}$ , тем значение начальной длины  $\bar{l}_{\min}$  страгиваемой трещины меньше. Из рисунка 2 также видно, что с увеличением амплитуды увеличивается и длина интервала  $(\bar{l}_{\min}; \bar{l}_{\max})$ .

Значение величины  $K_{cv} = 1$  рассматривается как критическое [4]. На рисунке 1 кривые  $\bar{a}(\bar{l})$ , для которых  $K_{cv} \geq 1$ , отличаются резким падением длины критической трещины  $\bar{l}$ .

Рассмотрим случай: стационарное напряжение  $\sigma_0 = 0$ . Тогда (8) имеет вид:

$$\bar{a}(\bar{l}) = \frac{\pi K_{cv} \sqrt{\bar{l}} \cos(\pi \lfloor \bar{l} \rfloor)}{\sin(\pi \cdot \bar{l})} \quad (10)$$

Графики функций (10) при двух значениях параметра  $K_{cv}$  показаны на рисунке 3.

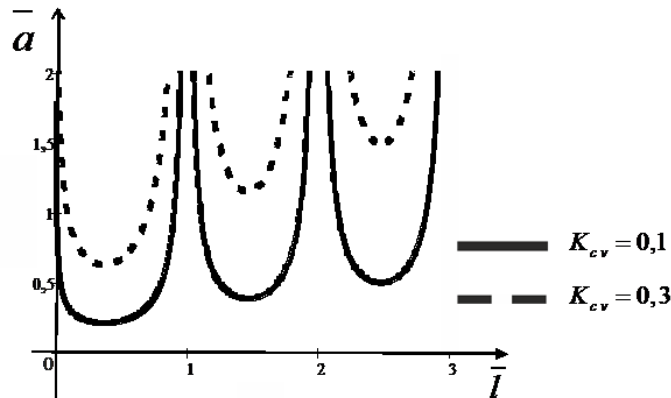


Рис. 3. Графики функции  $\bar{a}(\bar{l})$  при стационарном напряжении  $\sigma_0 = 0$

Увеличение начальных сжимающих напряжений, естественно, приводит к необходимости увеличивать амплитуду колебаний для создания условий страгивания.

В работе [3] представлены результаты по длине критических трещин при увеличении амплитуды колебаний в два раза в области высоких частот (700 -1200 Hz). Расчеты были проведены для следующих пород: каменный уголь, мелкозернистый песчаник, алевролит, известняк. При этом  $K_{cv} = 1$ ,  $\bar{a} = 0,35$ . Зависимости начального  $l_0$  и конечного  $l_N$  значений длины критической трещины от частоты  $\mathcal{G}$  и амплитуды рассчитывались по формулам:

$$l(K_{cv}, \bar{l}, K_{1c}, \sigma_0) = \frac{\pi \cdot K_{1c}^2 \cdot \bar{l}}{4 \cdot \sigma_0^2 \cdot K_{cv}^2},$$

$$l_0(\sigma_0) = l(1; 1; K_{1c}; \sigma_0), \quad l_N(\sigma_0) = l(1; 0,65; K_{1c}; \sigma_0).$$

Увеличение амплитуды колебаний в два раза ведет к уменьшению длин критических трещин в 2 раза для мелкозернистого песчаника в области частот 900-1200 Hz (Рис. 4).

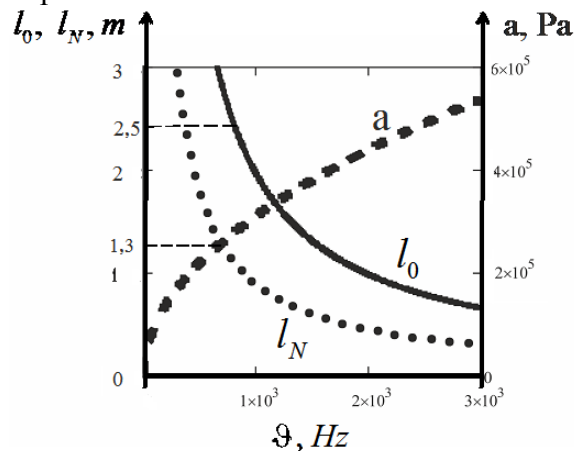


Рис. 4. Начальная  $l_0$  и конечная  $l_N$  длины критических трещин при увеличении амплитуды колебаний  $a$  в два раза и соответствующая амплитуда  $a$  в зависимости от частоты  $\mathcal{G}$  (песчаник)

Для каменного угля при увеличении амплитуды колебаний в два раза в области частот  $\vartheta < 1000 \text{ Hz}$  длины критических трещин уменьшаются в 1,5 раза (Рис. 5).

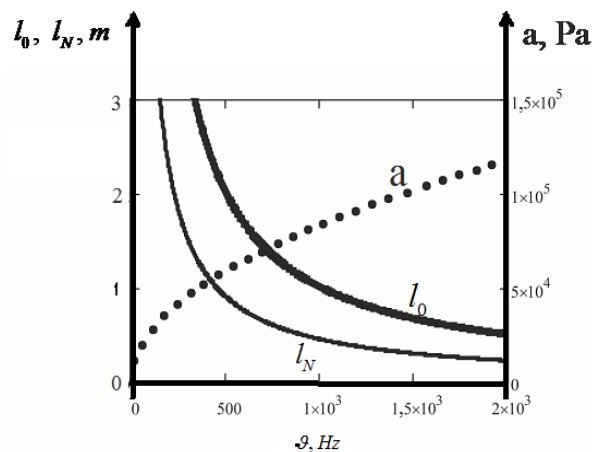


Рис. 5. Начальная  $l_0$  и конечная  $l_N$  длины критических трещин при увеличении амплитуды колебаний  $a$  в два раза и соответствующая амплитуда  $a$  в зависимости от частоты  $\vartheta$  (каменный уголь)

В области частот, близкой к  $1000 \text{ Hz}$ , длины критических трещин уменьшаются (Рис. 4, 5), но длины страгиваемых трещин велики: около  $1,3 \text{ м}$  для песчаника,  $1,1 \text{ м}$  для каменного угля. Вообще длины страгиваемых трещин меняются от  $1,3 \text{ м}$  до  $2,5 \text{ м}$  у песчаника (начальная амплитуда колебаний  $a = 0,3 \text{ MPa}$ , статическое напряжение  $\sigma_0 = 0,9 \text{ MPa}$ ), от  $1,1 \text{ м}$  до  $1,5 \text{ м}$  у каменного угля (начальная амплитуда колебаний  $a = 0,07 \text{ MPa}$ , статическое напряжение  $\sigma_0 = 0,2 \text{ MPa}$ ). Количество трещин такой длины незначительно, если учитывать тот факт, что такие изменения происходят при определённой амплитуде колебаний. В интервале частот  $\vartheta > 2000 \text{ Hz}$  разность между начальной и конечной длинами трещин уменьшается, поэтому эффект возможного развития трещин в этой области частот значительно снижается. Из рисунков 4, 5 видно, чтобы обеспечить условия страгивания трещин в области частот  $\vartheta > 2000 \text{ Hz}$  требуются значительно большие амплитуды колебаний. Таким образом, при значении частоты  $\vartheta$ , близкой к  $1000 \text{ Hz}$ , наблюдаем эффект заметного изменения длин страгиваемых трещин (больше  $1 \text{ м}$  для песчаника и около  $0,5 \text{ м}$  для угля).

Как показали расчеты, в области частоты, близкой к  $1000 \text{ Hz}$ , при увеличении амплитуды колебаний в 2 раза уменьшаются также длины критических трещин в 2-2,6 раза для известняка (статическое напряжение  $\sigma_0 = 0,9 \text{ MPa}$ ) и в 1,67 раза для алевролита [3], но при значительно меньшем статическом напряжении  $\sigma_0 = 0,5 \text{ MPa}$ . Если рассмотреть область частот  $\vartheta < 500 \text{ Hz}$ , то длины страгиваемых трещин меняются от  $3 \text{ м}$  до  $1,3 \text{ м}$  (Рис. 5). Но следует отметить, что трещины длиной  $3 \text{ м}$  и более в породах встречаются редко, поэтому говорить об опасной ситуации в данной области частот не представляется возможным.

Исследования условия страгивания трещины проводились и при изменениях квазистатического напряжения с учетом меняющейся колебательной нагрузки среды.

Для этого сравнивались значения длин страгиваемых трещин при статическом нагружении и при меняющихся квазистатических нагружениях [5]. Изменения квазистатических напряжений определяются величиной  $\alpha$  (3). На рисунке 6 построены графики функций  $\bar{a}(\bar{l})$ , заданных по формуле (5), при выполнении условий (4) и (6). Значения величин  $\alpha = 0$  и  $\alpha = 0,2$ , критическое значение величины  $K_{cv} = 1$  [4].

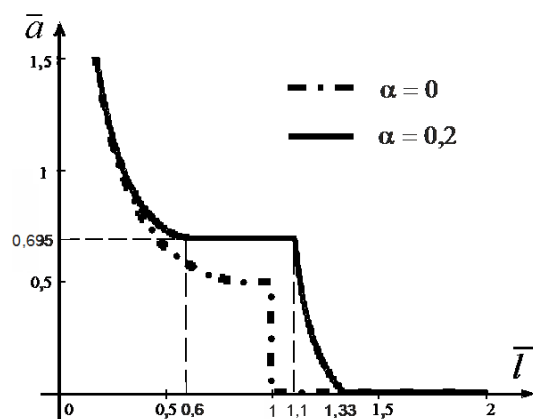


Рис. 6. Зависимости амплитуды колебаний  $\bar{a}$  от длины критической трещины  $\bar{l}$  при различных величинах  $\alpha$

Скачок длин критических трещин при росте квазистатических напряжений ( $\alpha = 0,2$ ) происходит, когда приведенная амплитуда колебаний  $\bar{a} = 0,695$ . При такой амплитуде трещины, приведенная длина которых лежит в интервале  $[0,611; 1,102]$ , одновременно страгиваются (Рис. 6). Таким образом, увеличивается интервал длин критических трещин при определённой постоянной амплитуде и при изменении квазистатических напряжений ( $\alpha = 0,2$ ) [5]. Такой эффект при статическом напряжении также наблюдается, но интервал длин критических трещин значительно меньше.

Когда  $\alpha = 0,2$ , как отмечалось в статье [5], увеличение амплитуды колебаний в 2 раза ведет к уменьшению длин критических трещин в 3 раза. Расчеты проводились для известняка и песчаника (шахта «Горская»). Квазистационарное напряжение  $\sigma_0$  получено с помощью формулы (3) при критическом значении параметра  $K_{cv} = 1$  (Таблица 1). Частота колебаний  $\vartheta = 800 \text{ Hz}$  взята из зоны частот 800-1200 Hz.

Таблица 1. Область длин критической трещины  $l$  для известняка и песчаника с учетом колебательной нагрузки ( $K_{lc}$  – трещиностойкость,  $c_R$  – скорость волн Релея,  $\sigma_0$  – квазистационарное напряжение)

	Песчаник	Известняк	Источник
$K_{lc}, \text{MPa} \cdot \sqrt{\text{м}}$	0,86	0,35	[6]
$c_R, \text{м/с}$	1954	2073	[2]
$\sigma_0, \text{MPa}$	0,49	0,19	
$l, \text{м}$	(0; 3,25)	(0; 3,45)	

Из таблицы 1: в известняке и в песчанике происходит страгивание трещин практически одной длины, но при различном стационарном напряжении. В известняке при этом стационарное напряжение  $\sigma_0 = 0,19 \text{ MPa}$  меньше в 2,5 раза, чем в песчанике.

Увеличение амплитуды колебаний в массиве в 2 раза ведет к уменьшению длин страгиваемых трещин в 2,5 раз (начальное стационарное напряжение пород различно) (Таблица 2).

Проведенные исследования показали, что увеличение амплитуды колебаний в области высоких частот (700-1200 Hz) приводит к резкому уменьшению длин критических трещин как для

угля, так и для вмещающих пород. При этом наблюдается скачкообразное изменение длины страгиваемых трещин, что можно рассматривать как предвестник динамического явления.

Таблица 2. Изменения длины критической трещины  $l_i$  в известняке и песчанике при соответствующей колебательной нагрузке амплитудой  $a_i$  при различном росте квазистатических напряжений ( $i = 1, 2$ )

	$a_1$ , МПа	$a_2$ , МПа	$\alpha = 0$		$\alpha = 0,2$	
			$l_1, м$	$l_2, м$	$l_1, м$	$l_2, м$
песчаник	0,2	0,4	2,44	0,98	2,93	0,98
известняк	0,08	0,16	2,6	1,04	3,11	1,04
выводы	Увеличение амплитуды колебаний в 2 раза		Уменьшение длины трещины в 2,5 раз		Уменьшение длины трещины в 3 раза	

Поэтому рост амплитуды высокочастотных составляющих в регистрируемом акустическом сигнале можно рассматривать как ещё один индикатор опасного состояния. Формализовать его можно в виде отношения

$$K_S = \frac{S_B}{S},$$

где  $S_B$  – площадь участка спектра, соответствующего высокочастотной составляющей,  $S$  – общая площадь амплитудно-частотного спектра сигнала.

Следует заметить, что, как отмечалось выше, авторы предложенного прогностического показателя  $K_B = \frac{A_B}{A_H}$  указывают на физический смысл его использования, связанного с

увеличением амплитуды именно высокочастотной составляющей  $A_B$ , а величина  $A_H$  применяется в значительной степени как нормирующая величина. Если субгармонические колебания по какой-либо причине значительно уменьшаются или вообще не будут зарегистрированы, но амплитуда высокочастотной части спектра останется прежней, то вероятность газодинамических явлений не увеличится, хотя показатель  $K_B$  при этом может принять неограниченно большое значение.

Данное обстоятельство, возможно, является причиной ошибок первого рода при использовании показателя  $K_B$ . Согласно [7] такие ошибки составляют от 6% до 44% в зависимости от шахтных условий. Здесь принималось, что нулевая гипотеза соответствует состоянию «динамическое явление не произойдёт», тогда под ошибками первого рода понимается «ложное срабатывание» («ложная тревога»).

Совместное применение показателей  $K_B$  и  $K_S$  может уменьшить ошибки 1-го рода, не приводя к росту ошибок 2-го рода.

Критические значения  $K_B^*$  и  $K_S^*$  для каждого из показателей  $K_B$  и  $K_S$  определяются согласно [4] для каждой подготовительной выработки и для каждого канала регистрации в очистном забое.

В качестве критерия опасного состояния можно, например, использовать условие

$$\left[ (K_B > K_B^*) \cap (K_S > K_S^*) \right] \cup \left[ (K_B(t) > K_B^*), \forall t \in [t_0, t_0 + \Delta t] \right] \quad (11)$$

где  $t$  – время,  $t_0$  – любой момент времени из интервала наблюдения, величина  $\Delta t$  определяется согласно [4] для каждой подготовительной выработки и для каждого канала



регистрации в очистном забое.

Условие (11) предполагает последовательное использование двух критериев, причём первый критерий  $K_B > K_B^*$  принимается основополагающим, так как при его выполнении не допускались ошибки второго рода [7]. Если второй критерий  $K_S > K_S^*$  выполняется, то решение «опасно» принимается только, если при этом выполняется первый. Вторым критерий вводим в схему прогноза выбросоопасности пород по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала с целью понизить ошибки первого рода, которые присущи первому критерию. Если выполняется первый критерий, то следим за значениями показателя  $K_S$ . Если при наблюдении за аппаратурой значения показателей  $K_B < K_B^*$  и  $K_S < K_S^*$ , то считаем ситуацию не опасной.

Данную схему прогноза выбросоопасности пород по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала предлагается использовать на новой аппаратуре (в разработке) для улучшения прогноза динамических явлений.

#### **Выводы.**

1. Показано, что увеличение амплитуды колебательной нагрузки в интервале частот 900-1200 Hz может приводить к скачкообразному изменению длины критической трещины. При увеличении амплитуды колебаний в два раза длины критических трещин уменьшаются в 1,5-2,6 раз. Установлены условия, при которых наблюдается данный эффект для каменного угля, песчаника, известняка, алевролита.

2. Исследовано влияние изменения квазистатического напряжения на установленный эффект скачкообразного изменения длины критической трещины. В частности, получено, что при росте квазистатического напряжения ( $\alpha = 0,2$ ) увеличение амплитуды колебаний в 2 раза ведет к уменьшению длин страгиваемых трещин в среднем в 3 раза (известняк и песчаник).

3. Предложен прогностический показатель  $K_S = \frac{S_B}{S}$ , где  $S_B$  – площадь участка спектра, соответствующего высокочастотной составляющей,  $S$  – общая площадь амплитудно-частотного спектра сигнала и критерий выбросоопасности пород, связанный с показателем  $K_S$ .

4. Предложена схема последовательного использования критериев выбросоопасности пород  $\left[ (K_B > K_B^*) \cap (K_S > K_S^*) \right] \cup \left[ (K_B(t) > K_B^*), \forall t \in [t_0, t_0 + \Delta t] \right]$ , где  $t$  – время,  $t_0$  – любой момент времени из интервала наблюдения, величина  $\Delta t$  определяется для каждой подготовительной выработки и для каждого канала регистрации в очистном забое,  $K_B^*$  и  $K_S^*$  – критические значения для каждого из прогностических показателей  $K_B$  и  $K_S$ .

#### **Список литературы**

1. Правила ведення гірничих робіт на пластах схильних до газодинамічних явищ. Стандарт Мінвуглепрому України. – К., 2005. – 224 с. (що діє сьогодні)
2. Ю.Н. Головкин, Е.А. Сдвижкова, И.В. Кондратюк. Определение условий страгивания трещин, инициированного колебаниями в породной напряженно-деформированной среде. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ. Випуск 4/2014 (87). С. 100-104
3. Ю.Н. Головкин, Е.А. Сдвижкова, Д.В. Клименко. Узагальнена умова страгування тріщини, що ініційоване коливаннями в породному напружено-деформованому середовищі. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ. Випуск 1/2017 (102). – С. 41-49
4. О. Sdvyzhkova, Yu. Golovko, D. Klymenko. Effect of harmonic oscillations on a crack initiation in the rock mass. Науковий вісник НГУ України. – Дніпро: НГУ. Випуск 5/2017.
5. Д.В. Клименко. Определение параметров колебательного нагружения, инициирующего страгивание трещин в породном массиве. Межведомственный сб. науч. трудов «Геотехническая механика». – Днепр: Издательство института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. Випуск 128/2017. – С. 192-204

6. Чеботарев П.Н. Установление корреляционных взаимосвязей вязкости разрушения угольного массива с показателями его прочности. Известия ТулГУ. Технические науки. Выпуск 9/2012. – С. 88-92.
7. Масленников Е.В. Обоснование параметров прогноза выбросоопасности в угольных шахтах на основе анализа акустического сигнала. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.15.11. – Днепропетровск, 2001. – 140 с.

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ПРИ ПОДРАБОТКЕ ОБВОДНЕННЫХ ПОРОД**

*А.Н. Молчанов, Ю.А. Виноградов, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины, Украина*

Разработана математическая модель фильтрации воды в деформируемом массиве горных пород. Впервые анкерная крепь рассмотрена как технологический способ снижения водопритока в горную выработку. Приведенными расчетами показано, что анкерная крепь может одновременно выполнять две функции: обеспечения устойчивости выработки и ее гидроизоляции, что существенно снижает расходы на поддержание выработки. На основании полученных результатов разработан «Способ снижения водопритока в горную выработку с применением анкерного крепления».

Трудно переоценить значение Западного Донбасса для современной Украины. Особенно сейчас, когда количество угольных предприятий значительно сократилось. Сегодня на шахтах Западного Донбасса добывается половина угля всей страны. Промышленные запасы Западодонбасского угольного месторождения составляют 699,2 млн. тонн, что обеспечивает добычу угля на существующем уровне в течение 56 лет.

В строении продуктивной толщи района имеется большое количество водоносных горизонтов, которые в той или иной степени угрожают безопасности и повышают сложность проведения горных выработок. Величина проницаемости нарушенных вмещающих пород возрастает в зоне подработки на два-три порядка. В результате приконтурные породы размокают и теряют прочностные свойства. Большая часть осложнений и аварий в горных выработках связана с водопроявлениями при подработке водоносных пород. Поэтому для Западного Донбасса актуальны задачи прогноза водопритоков и уменьшения их пагубного влияния на состояние горных выработок.

Опыт ведения горных работ в слоистом породном массиве с обводненными слоями показывает, что технология этих работ может влиять на протекание фильтрационных процессов в нарушенной зоне горного массива. Способы проходки выработки, величина заходки, скорость подвигания забоя влияют на распределение напряжений вокруг выработки, на конфигурацию области фильтрации, проницаемость внутри нее и, следовательно, на формирование и направление движения фильтрационных потоков в нарушенной области.

Применение анкерного крепления горных выработок позволяет сохранить вмещающие породы в первоначальном, монолитном состоянии. Предотвращение развития трещинообразования в приконтурной зоне должно значительно ограничить интенсивность фильтрационного движения жидкости, предупредить или снизить величину водопритока в выработку с анкерной крепью [1]. Так как анкерная крепь как средство снижения водопритока в горные выработки ранее не рассматривалась, необходимо выполнить исследование протекания процесса фильтрации воды в выработку в зависимости от способа ее крепления и различных гидрогеологических условий.

В связи с этим целью работы является установление закономерностей протекания процесса фильтрации воды из подрабатываемого обводненного пропластка в горную выработку в зависимости от способа ее крепления и различных гидрогеологических условий.